

供电企业技能岗位培训教材

GONGDIAN QIYE JINENG GANGWEI
PEIXUN JIAOCAI

贵州电网公司 组编

500kV变电运行



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



供电企业技能岗位培训教材

GONGDIAN QIYE JINENG GANGWEI PEIXUN JIAOCAI

500kV 变电运行

贵州电网公司 组编

昆明理工大学图书馆
呈贡校区
中文藏书章



03002125117

 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为更好地将员工培训与人才评价相结合,提升供电企业员工岗位胜任能力,贵州电网公司人力资源部特组织有关专业技术、技能人员编写了《供电企业技能岗位培训教材》,由若干分册组成。本套教材紧扣生产实际,以中、高级技能人才培养为主,是一线员工的培训、自学用书。

本书是《供电企业技能岗位培训教材 500kV 变电运行》分册。全书由知识部分、技能部分两部分组成。知识部分设专门知识一篇,有电力系统分析、电气设备、500kV 系统继电保护及自动装置、高电压技术、变电站综合自动化与监控系统、防误闭锁系统、数字化变电站七章。技能部分分基本技能、相关技能、专门技能三篇,其中基本技能设电力工程识图一章;相关技能设安全工具、仪器仪表一章;专门技能有运行维护、电气操作、异常处理、事故处理四章。

本书是 500kV 变电运行岗位培训、自学用书,也可作为变电运行专业技术人员、技能人员和大专院校相关专业师生的阅读参考书。

图书在版编目(CIP)数据

500kV 变电运行 / 贵州电网公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2011.10

供电企业技能岗位培训教材

ISBN 978-7-5123-2266-0

I. ①5… II. ①贵… III. ①变电所—电力系统运行—技术培训—教材 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 216099 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 432 千字 1 插页

印数 0001—3000 册 定价 60.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《供电企业技能岗位培训教材 500kV 变电运行》

主要编审人员

(以姓氏笔画为序)

王 坤 任德春 许亚林 何 军

余昌皓 宋先琴 李鹏翔 杨芳林

杨晓云 罗万芳 罗兴春 莫 莉





前 言

为了更好地贯彻中国南方电网有限责任公司的培训、评价、使用和待遇一体化机制，贵州电网公司（简称公司）探索出二元驱动提升员工岗位胜任能力的新途径。一方面是加强员工培训，提高培训的针对性和实效性，以员工岗位培训为核心，明确岗位培训标准，制定培训方案，有针对性地开展一线员工的在岗培训、转岗培训和岗前培训。另一方面是抓好人才评价，以岗位胜任能力要求为着力点，制定岗位评价标准，与培训工作有机结合，实现评价标准与培训标准的同步，把人才评价的结果与薪酬待遇有机衔接起来，建立清晰的人才素养要求与培养路径，充分调动员工学习的主观能动性，激发员工学习的内生动力。为给一线员工提供培训、自学用书，公司人力资源部组织有关专业技术、技能人员编写了有关岗位的胜任力模型、培训与评价标准（简称标准），并以此为依据编写了一套贴近生产实际的《供电企业技能岗位培训教材》。本套教材由变电运行（110、220、500kV）、配电线路运行与检修、变电检修、继电保护等三十余个岗位的培训教材以分册形式构成，内容紧扣岗位胜任力模型和标准的要求，目的在于培养适合国家、企业发展需要的中、高级技能人才。本套培训教材内容深入浅出，联系现场实际；文字通俗易懂，便于阅读自学；在对理论问题的阐述方面，主要从物理意义上进行定性分析，尽量避免繁杂的数学推证。

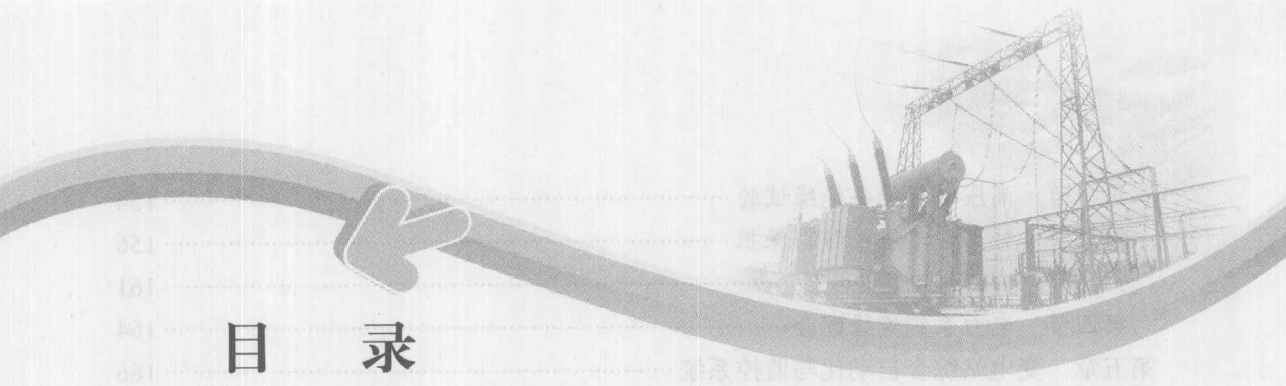
本书是《供电企业技能岗位培训教材 500kV 变电运行》分册。全书由知识部分、技能部分两部分组成。知识部分设专门知识一篇共七章。技能部分有基本技能、相关技能、专门技能三篇共六章。每章文后配有练习题，供读者检查自身对该章知识和技能的掌握情况。

本分册由贵州电网公司人力资源部组织编写，其中第一章和第二章第一节、第三节、第四节、第六节由贵阳供电局余昌皓编写；第二章第二节、第五节由凯里供电局杨芳林编写，第二章第七节、第八节、第九节和第十章由遵义供电局任德春编写；第二章第十节和第九章由毕节供电局许亚林编写；第三章和第十三章由兴义供电局李鹏翔编写；第四章和第十二章由铜仁供电局杨晓云编写；第五章由贵阳供电局何军编写；第六章、第八章和第十一章由安顺供电局宋先琴编写；第七章由都匀供电局罗万芳编写。贵州电网公司培训与评价中心罗兴春、莫莉、王坤负责该分册整体策划和审稿。该分册编写过程中引用了贵州电网公司曾编写的有关变电运行岗位培训教材。本分册编写过程中得到了贵州电网公司所属各供电局的大力支持，贵州电网公司有关内训师、专家对本分册的编写也提出了许多宝贵的建议和意见，在此表示衷心的感谢！

尽管各方面对本分册的编写作了相当大的努力，仍难免存在不妥之处，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2011年8月



目 录

前言

第一部分 知 识 部 分

第一篇 专门知识	3
第一章 电力系统分析	3
第一节 电力系统概述	3
第二节 电力系统异常和故障的一般概念	12
第三节 潮流与稳定性的概念	13
第二章 电气设备	16
第一节 变压器	16
第二节 互感器	31
第三节 断路器	41
第四节 隔离开关	47
第五节 组合电器	50
第六节 电容器及电抗器	54
第七节 消弧线圈	58
第八节 母线	60
第九节 变电站其他电气设备	63
第十节 站用电系统	68
第三章 500kV 系统继电保护及自动装置	77
第一节 概述	77
第二节 500kV 变电站变压器保护	79
第三节 母线保护	91
第四节 断路器保护	102
第五节 500kV 线路保护	107
第六节 3/2 断路器接线保护的的特殊问题	128
第七节 电抗器和电容器保护	134
第八节 安全稳定控制	143
第九节 故障录波	148
第四章 高电压技术	154

第一节	高压电气设备绝缘试验	154
第二节	外部过电压及防雷保护	156
第三节	内部过电压	161
第四节	电力系统绝缘配合	164
第五章	变电站综合自动化与监控系统	166
第一节	变电站综合自动化系统	166
第二节	变电站综合自动化的监控系统	170
第六章	防误闭锁系统	173
第七章	数字化变电站	179
第一节	概述	179
第二节	数字化变电站的主要技术特征	179
第三节	数字化变电站的架构体系	182
第四节	数字化变电站的运行维护	183

第二部分 技能部分

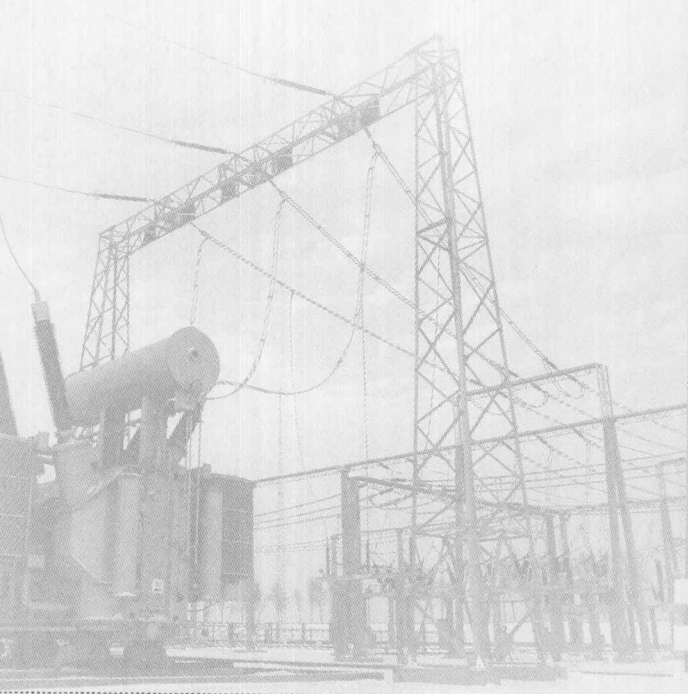
第二篇	基本技能	193
第八章	电力工程识图	193
第一节	电气主接线	193
第二节	识读二次回路图	198
第三篇	相关技能	206
第九章	安全工器具、仪器仪表	206
第一节	安全工器具	206
第二节	安全防护用品	210
第三节	常用仪器仪表	213
第四篇	专门技能	218
第十章	运行维护	218
第一节	概述	218
第二节	变压器巡视	222
第三节	断路器的运行维护	225
第四节	隔离开关的运行维护	228
第五节	互感器的运行维护	229
第六节	母线的运行维护	230
第七节	电容器的运行维护	231
第八节	电抗器的运行维护	232
第九节	消弧线圈、避雷器的运行维护	233
第十节	阻波器、结合滤波器、耦合电容器的运行维护	235
第十一节	继电保护装置的运行维护	235

第十二节	直流系统的运行维护	240
第十三节	防误闭锁系统	242
第十四节	设备维护	243
第十一章	电气操作	246
第一节	电气操作的一般原则	246
第二节	线路操作	247
第三节	断路器操作	249
第四节	母线操作	250
第五节	变压器操作	253
第六节	电压互感器操作	254
第七节	补偿装置操作	255
第八节	继电保护及安全自动装置操作	256
第十二章	异常处理	260
第一节	变压器异常处理	260
第二节	断路器及隔离开关异常处理	265
第三节	母线异常处理	269
第四节	互感器异常处理	270
第五节	补偿装置异常处理	275
第十三章	事故处理	279
第一节	概述	279
第二节	变压器故障处理	281
第三节	母线故障处理	289
第四节	线路故障处理	291
附录 A	变电站设备维护周期表	299
附录 B	变电站设备定期轮换、试验检查周期表	300
附录 C	设备定期轮换、试验检查记录	301
附录 D	变电站电气操作票	302
附录 E	500kV 贵阳仿真变电站主接线图	303
附录 F	500kV 变电运行岗位常用法律法规一览	304
参考文献		305



第一部分

知识部分



第一章 电力系统分析

目的和要求:

1. 了解电力系统的基本概念;
2. 掌握电力系统中性点及其运行方式的基本知识;
3. 掌握电力系统的短路类型;
4. 了解频率调整和有功功率之间的关系, 电压调整和无功功率之间的关系;
5. 了解潮流和稳定性的概念。

第一节 电力系统概述

一、电力系统的基本组成

在电力工业发展的初期, 发电厂都建在电能用户的附近, 一般规模很小, 而且是孤立运行的。但是, 发电用的动力资源和电能用户往往不在一个地区, 水能资源集中在河流的水位落差较大的偏远山区, 燃料资源则集中在产煤、石油、天然气的矿区。而大城市、大工业和其他用电大户, 可能与动力资源地区相距甚远。水电只能通过高压输电线路把电能送到用户地区才能得到充分利用。火电厂虽然能通过运输燃料在用电地区建厂, 但随着机组容量的增大, 远距离大量运输燃料常常不如输电经济。于是就出现了坑口电厂, 即把火电厂建在矿区, 通过升压变电站、高压输电线、降压变电站把电能送到离电厂较远的用户地区。水电厂则更要经过远距离输电才能把电能输送到负荷中心。随着高压输电技术的发展, 在地理上相隔一定距离的发电厂就逐步联系起来并列运行, 其规模越来越大, 开始是在一个地区之内, 后来发展到地区之间, 最终形成庞大的系统。

发电厂、变电站、电能用户之间用电力线路连接起来, 发电厂与热能用户之间用热力管道联系起来, 构成电能和热能的统一生产、输送、分配和使用的总体称为动力系统。作为动力系统的一部分, 包括发电厂的发电机、升压及降压变电站、电力线路及用电设备的一个整体称为电力系统。而电力系统除去发电机和电能用户外的部分称为电力网, 它包括变电站及不同电压等级的电力线路。图 1-1 为动力系统、电力系统、电力网的基

本组成示意图。

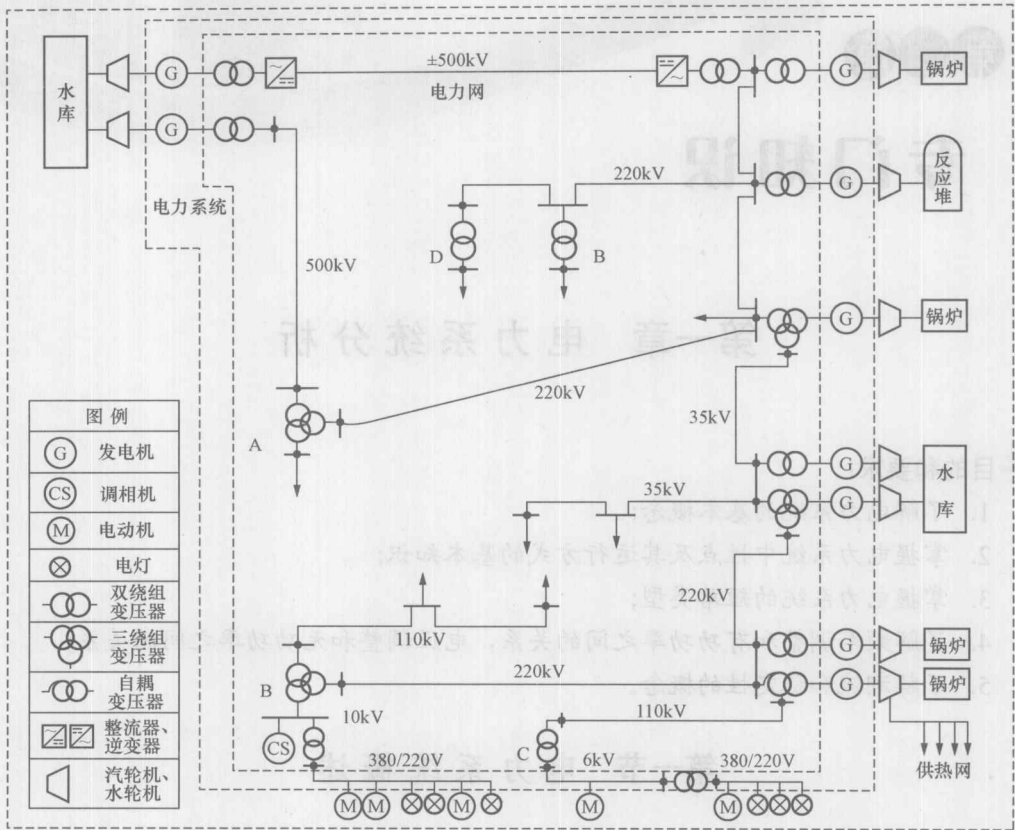


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网基本组成示意图

二、电能的生产、传输及变换

煤炭、石油、天然气、水利等随自然界演化生成的动力资源是能量的直接提供者，称为一次能源。电能是由一次能源转换而成的，称为二次能源。

发电厂是生产电能的核心，担负着把不同种类的一次能源转换成电能的任务。依据使用的一次能源的不同，发电厂被分成许多类型。例如：利用燃烧煤、石油、天然气发电的火力发电厂，利用水能发电的水力发电厂，利用核能发电的核动力电厂等。目前全世界的电源构成中，火力发电是主要的发电方式。

火力发电消耗的煤、石油、天然气是几亿年形成的矿物资源，它们不仅是能量的提供者，还是很珍贵的化工原料。为了节约这些有多种用途的重要资源，除了积极发展水力发电、核动力发电之外，还正在开发新的发电方式，如潮汐发电、地热发电、太阳能发电、风力发电等。

从发电站发出的电能，一般都要通过输电线路送到各个用电地方。根据输送电能距离的远近，采用不同等级的电压输电。从我国现在的电力情况来看，送电距离在 200~300km 时采用 220kV 的电压输电；100km 左右时采用 110kV；50km 左右时采用 35kV；

15~20km 时采用 10kV。输电电压在 330kV 及以上的线路，称为超高压输电线路；输电电压在 750kV 及以上的线路，称为特高压输电线路。在远距离送电时，我国广泛采用 500kV 的超高压输电线路。

为什么要采用高压输电呢？这要从输电线路上的损耗的电功率谈起，当电流通过导线时，就会有一部分电能变为热能而损耗掉了。我国目前普遍采用的三相三线制交流输电线路上的损耗的电功率为

$$\Delta P = 3I^2 R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R$$

式中 R ——输电线每相电阻；

P ——输电线中的三相有功功率；

Q ——输电线中的三相无功功率。

当输电线参数 R 一定时，输电电压 U 越高，损耗的电功率 ΔP 就越小；如果允许损耗的电功率 ΔP 一定时（一般不得超过输送功率的 10%），电压越高，输电导线的电阻就可以越大，也就是输电线的截面积就可以选得越小，这可大大节省输电导线所用的材料。从减少输电线路上的电功率损耗和节省输电导线所用材料两个方面来说，远距离输送电能要采用超高压输电。但也不能盲目提高输电电压，输电电压越高，输电架空线的建设，及对所用各种材料的要求越严格，线路的造价就越高。所以，要从具体的实际情况出发选择输电电压，做到既能减少功率损耗，又能节约建设投资。

虽然高压输电能减少电功率的损耗，但从发电方面来看，发电机不能直接产生像 220kV 那样的高电压，因为发电机要产生那么高的电压，从它的用材、结构以及安全运行生产等方面都有几乎无法克服的困难。从用电方面来看，绝大多数的用电设备也不能在高电压下运行。这就决定了从发电、输电到用电要用到一系列电力变压器来升高或降低电压。

三、电力系统的电压等级

各种用电设备以及发电机、变压器都是按一定的标准电压设计和制造的。因此它们运行在标准电压下时，其技术经济性能指标都将发挥得最好，此标准电压就称为额定电压。

要满足用电设备对供电电压的要求，电力网应有自己的额定电压，并且规定电力网的额定电压应与用电设备的额定电压相一致。

图 1-2 中，线路 ab 有功率通过时，由于有电压降存在，因而其首、末端电压是不等的，分别为 U_1 和 U_2 ，因此接在线路中的用电设备 LD1~LD5 所承受的电压也各不相同。为了使用电设备实际承受的电压尽可能接近它们的额定电压，应取线路的平均电压

$$U_{av} = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

等于用电设备的额定电压。而电力线路的额定电压和与它相连接的用电设备额定电压相等。

由于用电设备一般允许其实际电压偏离额定电压 $\pm 5\%$ ，而电力线路从首端至末端电

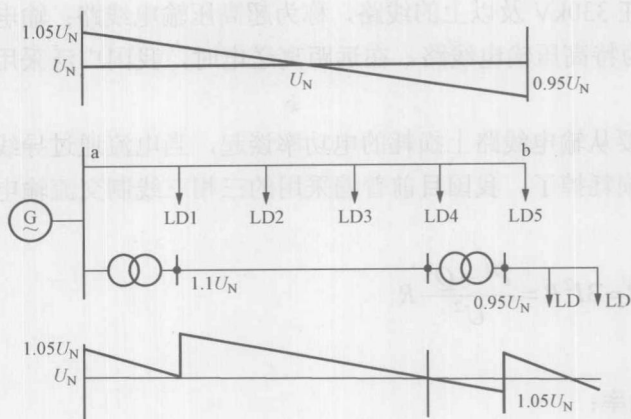


图 1-2 电力网各部分电压分布

压损耗允许为 10%，故通常让线路的首端电压比额定电压高 5%，而让末端电压比额定电压低 5%，这样无论用电设备接在线路的哪一点，承受的电压都不超过额定电压的 ±5%。

发电机总是接在线路的首端，所以它的额定电压应比所接电网的额定电压高 5%。

变压器具有发电机和用电设备的双重性。变压器的一次侧由电网接受电能，相当于用电设备；

其二次侧供出电能，又相当于发电机。因此规定：变压器一次侧的额定电压等于电网的额定电压。但是，与发电机直接连接的变压器，其一次侧额定电压应等于发电机额定电压。变压器二次侧的额定电压定义为空载时的电压，变压器在载有额定负荷时，其内部阻抗上约有 5% 的电压损耗，为使变压器在额定负荷下工作时二次侧的电压高于用电设备额定电压 5%，考虑到变压器自身内部的电压损耗，规定变压器二次侧的额定电压比用电设备的额定电压高 10%；如果变压器阻抗较小，内部电压损耗也比较小，规定这种变压器的二次侧额定电压比用电器额定电压高 5%。

综合考虑各种因素的影响，我国规定的额定电压等级（高于 1kV 部分）见表 1-1。

表 1-1 电力系统的额定电压

用电设备额定电压 (kV)	交流发电机额定电压 (kV)	变压器额定电压 (kV)	
		一次绕组	二次绕组
3	3.15	3、3.15	3.15、3.3
6	6.3	6、6.3	6.3、6.6
10	10.5	10、10.5	10.5、11
—	15.75	15.75	—
35		35	38.5
60		60	66
110		110	121
154		154	169
220		220	242
330		330	345、363
500		500	525、550

注 1. 变压器一次绕组栏内的 3.15、6.3、10.5、15.75kV 适用于与发电机直接连接的变压器。

2. 变压器二次绕组栏内的 3.3、6.6、11kV 适用于阻抗在 7.5% 以上的降压变压器。

四、电力系统负荷与负荷曲线

电力系统中接有数目众多、千差万别的用电设备，它们大致可分为异步电动机、同步电动机、各类电炉、整流设备、电子仪器、电灯等。它们分属于不同的工厂、企业、机关、居民区等，统称为电力系统的用户。用户是电力系统服务的对象，电力系统运行的好坏，归根到底要看对用户供电的质量如何而定。

用电设备从电力系统中取用的功率（有功与无功）称为负荷，因为用户用电设备的投入或停运对电力系统而言完全是随机的，所以用电负荷的大小是随时间而变化的。对一大批用电设备，其负荷的变化虽仍有随机性，但却能显示出某种程度的规律性，这一规律性通过负荷曲线的描述可以看得比较清楚。负荷曲线是指在某一段时间内用电负荷大小随时间变化的曲线图。

用电设备的负荷包括有功负荷及无功负荷，因而负荷曲线也分成有功负荷曲线及无功负荷曲线。每类负荷曲线按时间段划分的不同还可以分为日负荷曲线、年负荷曲线；按描述的负荷范围不同还可分为用户的负荷曲线、地区电网的负荷曲线以及电力系统的负荷曲线。实际的负荷曲线是一条不间断的连续曲线，但在实际绘制时由于只能得到离散时间的实测（或估计）值，一般用折线法或阶梯法描绘。图 1-3 和图 1-4 所示为用这两种方法绘成的日有功负荷曲线。其横坐标以 h 为单位，长度为 24h，表示一天之内有功负荷的变化情况。日有功负荷曲线应用最广，故把它简称为负荷曲线。负荷曲线的最高点和最低点分别代表日最大负荷和日最小负荷，是电力系统运行中必须掌握的重要数据。日有功负荷曲线随着时间延伸到 8760h，就构成了年有功负荷曲线。

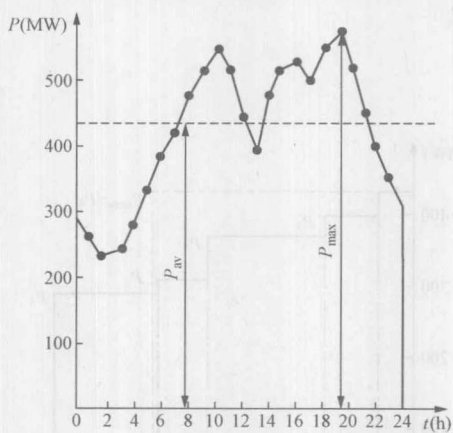


图 1-3 日有功负荷曲线（折线法）

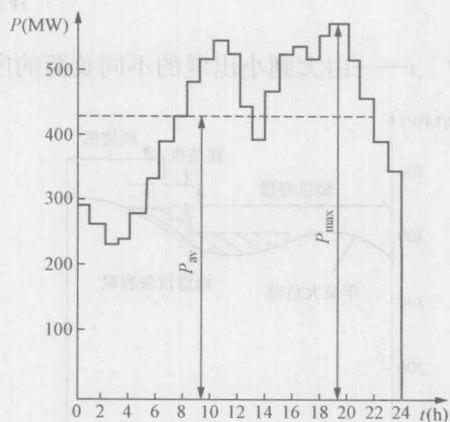


图 1-4 日有功负荷曲线（阶梯法）

与有功负荷相似，无功负荷也在一天中不断变化，但变化较平缓，因为像电动机和变压器这类设备，其励磁所需的无功功率仅与电压有关，并不随有功功率变化。

根据负荷曲线可以计算出系统中用户的日用电量为

$$W = \int_0^{24} P dt$$

进而可以求出日平均负荷为

$$P_{av} = \frac{W}{24} = \frac{1}{24} \int_0^{24} P dt$$

为了反映负荷曲线的起伏变化情况，引入一个负荷率的概率

$$K_p = \frac{P_{av}}{P_{max}}$$

负荷率 K_p 为日平均负荷有功功率与日最大负荷有功功率之比， K_p 值小表明负荷曲线起伏大，发电机的利用率差。

负荷曲线对电力系统的运行有很重要的意义，它是安排日发电计划、确定各发电厂发电任务以及确定系统运行方式等的重要依据。

随着生产的安排不同以及季节气候的变化，每日的最大负荷是不同的，把每天的最大负荷抽取出来按年绘成曲线，称为年最大负荷曲线，如图 1-5 所示。这种负荷曲线主要用来指导制订发电检修计划和制订新建、扩建电厂的计划等。

前面已经述及，为了确保系统中因有机组检修或个别机组突然发生故障退出运行时不减少对用户供电，系统中装设的机组总容量应当大于系统的最大负荷，如图 1-5 所示。多出的部分称为备用容量。显而易见，检修机组应安排在负荷最小的时段，而且随着负荷的增长，还应当不断装设新的发电设备。

在电力系统运行分析中，还经常用到年持续负荷曲线，如图 1-6 所示，它是把一年内每个小时的负荷按功率大小为先后顺序排列而成，可用于安排发电计划及进行可靠性估计。按此曲线可求出全年的电能消耗量为

$$W = \sum_{i=1}^n P_i t_i$$

式中 i ——由大到小出现的不同负荷的序号。

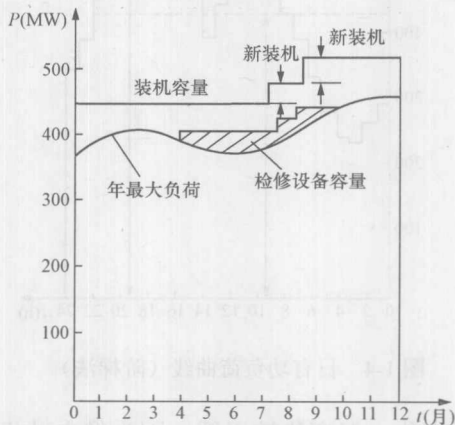


图 1-5 有功功率年最大负荷曲线

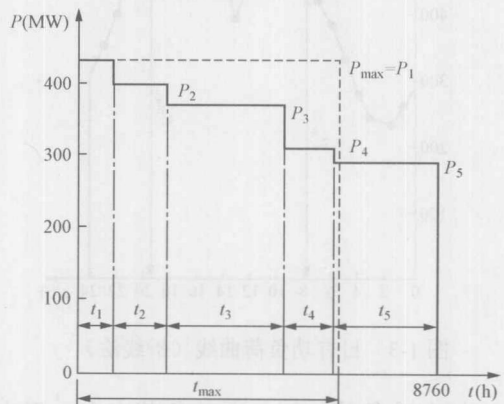


图 1-6 年持续负荷曲线

最大负荷利用时间定义为

$$T_{max} = \frac{W}{P_{max}} = \sum_{i=1}^n P_i t_i / P_{max}$$

即负荷按最大有功功率 P_{\max} 使用, 则在 T_{\max} 时间内消耗的电能, 等于负荷全年的电能消耗量 W 。

不同性质的用户、不同的生产班次, 其最大负荷利用时间不同。根据运行经验统计出的不同类用户的不同班次的最大负荷利用时间都有一个大致的范围, 见表 1-2。若已知某一类用户的最大负荷, 再从表中查出相应的最大负荷利用时间, 就可算出该类用户全年用电量的近似值。

表 1-2 各类用户年最大负荷利用小时

负荷类型	T_{\max} (h)	负荷类型	T_{\max} (h)
照明及生活用电	2000~3000	三班制企业	6000~7000
一班制企业	1500~2200	农业用电	1000~1500
二班制企业	3000~4500		

五、电力系统中性点运行方式

电力系统的中性点是指三相电力系统中绕组或线圈采用星形连接的电力设备(如发电机、变压器等)各相的连接对称点和电压平衡点, 其对地电位在电力系统正常运行时为零或接近于零。

电力系统中性点接地方式有两大类: 一类是中性点直接接地或经低阻抗接地, 称为大接地电流系统, 简称大接地系统(110kV及以上电网); 另一类是中性点不接地以及经消弧线圈或高阻抗接地, 称为小接地电流系统, 简称小接地系统(35kV及以下电网)。

1. 中性点不接地系统

优点是若发生单相接地故障时, 流过接地点的故障电流很小, 三相用电设备能正常工作, 允许继续运行 2h, 因此可靠性高。缺点是这种系统发生单相接地时, 其他两条完好线路的相对地电压升高到线电压, 是正常时的 $\sqrt{3}$ 倍, 因此对绝缘要求高, 需增加绝缘费用。

2. 中性点经消弧线圈接地系统

除有中性点不接地系统的优点外, 还可以减少接地电流。缺点与中性点不接地系统相同。

3. 中性点直接接地系统

优点是发生单相接地故障时, 其他两相完好线路的相对地电压不升高, 因此可降低绝缘费用。缺点是发生单相接地短路时, 接地点将流过很大的短路电流, 需要迅速切除故障, 供电可靠性差。

目前我国电力系统中性点的运行方式, 大体是:

(1) 对于 6~10kV 的系统, 由于设备绝缘水平按线电压考虑, 为了提高供电可靠性, 一般均采用中性点不接地或经消弧线圈接地的方式。

(2) 对于 110kV 及以上的系统, 主要考虑降低设备绝缘水平, 简化继电保护装置, 一般均采用中性点直接接地的方式, 并采用送电线路全线架设避雷线和装设自动重合闸